

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 634 689**

51 Int. Cl.:

H02P 27/04 (2006.01)

H02P 3/02 (2006.01)

H02M 1/00 (2007.01)

H02M 3/07 (2006.01)

H02M 5/458 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.06.2009 PCT/EP2009/056836**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.12.2009 WO09147186**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.06.2009 E 09757567 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.04.2017 EP 2281337**

54 Título: **Dispositivo de recuperación de energía en un variador de velocidad**

30 Prioridad:

06.06.2008 FR 0853773

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

28.09.2017

73 Titular/es:

**SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS
(100.0%)
33, rue André Blanchet
27120 Pacy sur Eure, FR**

72 Inventor/es:

**BAUDESSON, PHILIPPE;
GRBOVIC, PETAR y
LE MOIGNE, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 634 689 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de recuperación de energía en un variador de velocidad

5 La presente invención se refiere a un variador de velocidad que incluye un dispositivo de recuperación de energía que integra un módulo de almacenamiento de la energía recuperada. Un variador de ese tipo se utiliza en particular para controlar un motor eléctrico en unas aplicaciones que tengan frecuentes aceleraciones y deceleraciones como las aplicaciones de elevación o las aplicaciones de regulación de posición.

10 Un dispositivo de recuperación de energía sirve habitualmente para poder almacenar la energía cuando el motor está en modo frenado (o modo recuperación), y posteriormente para restituir la energía así almacenada cuando el motor está en modo tracción (o modo motor), y eventualmente para proporcionar una energía de socorro en caso de desaparición de la red de alimentación del variador.

15 Unos documentos de la técnica anterior tales como los US2001017234, EP1641110, US6.742.630, US6.938.733, WO2006/016002 o EP1586527A1 proponen ya unas soluciones de recuperación de energía asociadas con un variador de velocidad. Las topologías existentes se basan generalmente en un convertidor de potencia adicional y un módulo de almacenamiento de energía, en el que el convertidor de potencia se conecta en paralelo al bus de continua de potencia del variador de velocidad. El módulo de almacenamiento de energía incluye frecuentemente uno o varios "súper-condensadores" o una combinación de un "súper-condensador" y una batería.

20 El término "súper-condensador" (super-capacitor) o "ultra-condensador" (ultra-capacitor) designa un componente conocido que es capaz de almacenar una cantidad de energía eléctrica mayor que un condensador clásico, próxima por ejemplo a la de una batería de tipo electroquímico, pero que puede igualmente admitir grandes corrientes de carga y descarga como un condensador clásico, contrariamente a una batería de tipo electroquímico.

25 Las soluciones existentes no permiten amplificar (o reforzar) la tensión del bus de continua a un valor superior a la tensión proporcionada en la salida del rectificador por la red de alimentación del variador. Igualmente, no puede regularse la tensión del bus de continua para disminuir las oscilaciones del bus de continua de manera que se reduzca la tasa de distorsión de las corrientes del motor y por tanto la ondulación del par cuando la tensión aplicada a la salida del ondulator es máxima. Además, la corriente absorbida por el rectificador no puede tener una tasa de distorsión armónica total en corriente (THDI) por debajo del 30 %. Por otro lado, no se optimiza el factor de utilización de los conmutadores utilizados en el dispositivo de recuperación de energía.

30 El objetivo de la invención es por tanto proponer un variador de velocidad que incluye un dispositivo de recuperación de energía para economizar la energía, mejorar los rendimientos del variador y que no presente los inconvenientes anteriores. En particular, el dispositivo de recuperación de energía debe permitir en particular:

- recuperar y almacenar la energía eléctrica cuando el variador de velocidad funciona en modo frenado.
- restituir al variador la energía eléctrica almacenada en modo frenado.
- reducir a aproximadamente el 30 % la tasa de distorsión armónica total en corriente (THDI) sobre las fases de la red de alimentación en la entrada del variador.
- 35 - suprimir las variaciones de esta tensión del bus de continua (función libre de rizado) a la frecuencia de red (aproximadamente 50 Hz), a pesar de las perturbaciones eventuales de la red de alimentación externa, incluso en el caso de un variador que no incluya condensador de bus (topología sin C). Una regulación de la tensión del bus de continua permite particularmente tener un mejor control del par y del flujo del motor.
- 40 - aumentar si es necesario la tensión del bus de continua proporcionada por el módulo rectificador del variador (función de refuerzo), lo que permite tener una reserva de energía.

45 Para ello, la invención describe un variador de velocidad que comprende un bus de continua de alimentación de potencia dotado de una línea positiva y de una línea negativa, y un módulo ondulator alimentado por el bus de continua para proporcionar una tensión variable a una carga eléctrica. El variador comprende un dispositivo de recuperación de energía que incluye un primer convertidor continua/continua que comprende una etapa de entrada y una etapa de salida, estando conectada en serie la etapa de salida del primer convertidor sobre la línea positiva del bus de continua, un segundo convertidor continua/continua que comprende una etapa de entrada y una etapa de salida, estando conectada la etapa de entrada del segundo convertidor entre la línea positiva y la línea negativa del bus de continua, y un módulo de almacenamiento de la energía eléctrica que se conecta en paralelo con la etapa de entrada del primer convertidor y en paralelo con la etapa de salida del segundo convertidor.

50 Según una característica, el módulo de almacenamiento de la energía eléctrica incluye uno o varios súper-condensadores.

Según otra característica, el primer convertidor continua/continua es un convertidor monodireccional no aislado que incluye un interruptor activo y un interruptor pasivo.

55 En el presente documento, la expresión "interruptor activo" hace referencia a un interruptor que es de conmutación controlada a la apertura y/o al cierre, tal como un transistor, un tiristor o un triac. A la inversa, la expresión "interruptor pasivo" hace referencia a un interruptor que es de conmutación espontánea, tal como un diodo.

Según otra característica, el interruptor pasivo es un diodo que se conecta en serie sobre la línea positiva del bus de continua, estando conectada la etapa de salida del primer convertidor a los bornes del diodo, y estando conectada la etapa de entrada del primer convertidor a los bornes del conjunto formado por el interruptor activo y el interruptor pasivo conectados en serie. El interruptor activo es un transistor de potencia que se controla mediante una primera señal de control generada por el variador de velocidad.

Según otra característica, el segundo convertidor continua/continua es un convertidor bidireccional no aislado que incluye un primer interruptor activo conectado en serie con un segundo interruptor activo. La etapa de salida del segundo convertidor se conecta a los bornes del segundo interruptor activo, y la etapa de entrada del segundo convertidor se conecta a los bornes del conjunto formado por el primer interruptor activo y el segundo interruptor activo.

Según otra característica, el segundo convertidor continua/continua es un convertidor bidireccional aislado que comprende un transformador de alta frecuencia.

Surgirán otras características y ventajas en la descripción que sigue con referencia a un modo de realización dado a título de ejemplo y representado por los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 muestra un ejemplo simplificado de arquitectura de un variador de acuerdo con la invención,
- la figura 2 detalla un modo de realización preferido del primer convertidor continua/continua,
- la figura 3 representa un diagrama de la tensión del bus de continua y de la tensión rectificadora,
- las figuras 4a a 4d ilustran los diferentes modos de funcionamiento del variador,
- las figuras 5 y 6 detallan varios modos de realización del segundo convertidor continua/continua.

Con referencia a la figura 1, un variador de velocidad, del tipo convertidor de frecuencia, se alimenta mediante una red 5 exterior de alimentación trifásica. El variador incluye un módulo 12 rectificador que proporciona una tensión rectificadora V_{IN} entre una línea 16 positiva y una línea 17 negativa de un bus de continua de alimentación de potencia. Preferentemente, el módulo 12 rectificador utiliza unos diodos y no necesita tiristores. Preferentemente, se coloca una inductancia 13 de filtro suplementaria de reducido valor, en serie sobre la línea 16 positiva del bus de continua.

El variador incluye a continuación un módulo 14 ondulator alimentado por el bus de continua y que proporciona una tensión variable a una carga eléctrica M exterior, en particular un motor eléctrico síncrono o asíncrono. Un módulo 14 ondulator de ese tipo incluye habitualmente unos transistores de potencia que están controlados mediante unas señales de control procedentes de una unidad de control del variador de velocidad (no representada en las figuras). El variador puede incluir también un condensador C_B del bus conectado entre las líneas 16 positiva y 17 negativa del bus de continua, del lado del módulo 14 ondulator. La tensión de continua en los bornes de este condensador C_B del bus se denomina tensión V_B de bus.

El variador incluye un dispositivo 10 de recuperación de energía destinado a recuperar y almacenar la energía eléctrica cuando la carga eléctrica M se convierte en arrastre (frenado motor). Según la invención, el dispositivo 10 de recuperación de energía incluye un primer convertidor 20 continua/continua (o convertidor CC/CC), un segundo convertidor 30 continua/continua (o convertidor CC/CC) y un módulo C_S de almacenamiento de la energía eléctrica. El primer convertidor 20 continua/continua comprende una etapa 20b de entrada formada por dos bornes de entrada y una etapa 20a de salida formada por dos bornes de salida. Igualmente, el segundo convertidor 30 continua/continua comprende una etapa 30b de entrada formada por dos bornes de entrada y una etapa 30a de salida formada por dos bornes de salida.

La etapa 20a de salida del primer convertidor 20 está conectada en serie sobre la línea 16 positiva del bus de continua, entre la inductancia 13 de filtro y el condensador C_B del bus. Existe una tensión V_0 entre los dos bornes de esta etapa 20a de salida, de tal manera que: $V_B = V_{IN} + V_0$, no teniendo en cuenta la tensión en los bornes de la inductancia 13. La etapa 30b de entrada del segundo convertidor 30 se une entre la línea 16 positiva y la línea 17 negativa del bus de continua, aguas arriba del condensador C_B del bus, es decir entre el módulo 12 rectificador y el condensador C_B del bus.

El módulo C_S de almacenamiento se conecta en paralelo con la etapa 20b de entrada del primer convertidor 20 y en paralelo con la etapa 30a de salida del segundo convertidor 30. La tensión en los bornes del módulo C_S de almacenamiento, es decir en los bornes de la etapa 30a de salida y en los bornes de la etapa 20b de entrada, se denomina V_S . Preferentemente, el módulo C_S de almacenamiento está compuesto de uno o varios súper-condensadores, de manera que permita al almacenamiento de una gran cantidad de energía eléctrica y permita unas corrientes elevadas de carga/descarga.

El primer convertidor 20 es un convertidor continua/continua monodireccional que no está aislado. Recibe en la entrada la tensión V_S del módulo C_S de almacenamiento y proporciona en la salida la tensión V_0 sobre la línea 16 positiva del bus de continua. Se detalla un modo de realización muy simple del primer convertidor 20 en la figura 2. Comprende simplemente un interruptor 22 pasivo en serie con un interruptor 21 activo. De manera preferida, el interruptor activo es un transistor 21 de potencia de tipo IGBT, MOSFET u otro, y el interruptor pasivo es un diodo 22 cuyo ánodo se coloca del lado del interruptor 21 activo. El transistor 21 de potencia se controla mediante una señal S_{21} de control procedente de la unidad de control del variador de velocidad. La señal S_{21} de control es una señal de

modulación de ancho de impulso (PWM – Pulse Width Modulation) que particularmente permite variar la tensión V_0 de salida del primer convertidor 20.

5 La etapa 20b de salida del primer convertidor 20 se conecta directamente a los bornes del diodo 22, y la etapa 20a de entrada el primer convertidor 20 se conecta directamente a los bornes el conjunto formado por el transistor 21 de potencia y el diodo 22 conectados en serie. El diodo 22 se coloca por tanto en serie sobre la línea 16 positiva del bus de continua y la tensión V_D en los bornes del diodo es igual a la tensión V_0 de salida del primer convertidor 20.

10 Cuando el transistor 21 de potencia está abierto (estado OFF), entonces la corriente del bus de continua circula en el diodo 22. La tensión V_D en los bornes del diodo es por tanto nula, por lo que $V_0 = 0$ y $V_B = V_{IN}$. Cuando el transistor 21 de potencia está cerrado (estado ON), la corriente circula en el transistor 21 y la tensión V_D se convierte entonces en igual a la tensión V_S del módulo C_S de almacenamiento, por tanto, $V_B = V_{IN} + V_S$. La tensión V_0 de salida varía por tanto entre 0 y V_S y es siempre positiva o nula. De ese modo, actuando sobre la señal S_{21} de control del transistor 21 de potencia, es posible regular la tensión V_B y la corriente que circula en la inductancia 13.

15 El segundo convertidor 30 es un convertidor continua/continua bidireccional. Recibe en la entrada la tensión V_B del bus de continua y proporciona en la salida la tensión V_S del módulo C_S de almacenamiento. La etapa 30b de entrada del segundo convertidor 30 se une por tanto directamente al condensador C_B del bus y la etapa 30a de salida del segundo convertidor 30 se une directamente al módulo C_S de almacenamiento.

20 De una manera general, el segundo convertidor 30 puede ser un convertidor continua/continua bidireccional en corriente y puede ser aislado o no aislado. Las topologías no aisladas son del tipo semi-puente (half-bridge) en dos niveles o de varios niveles de tensión —por ejemplo, del tipo NPC (Neutral Point Capacitor) o Flying capacitor (condensador flotante)—. Las topologías aisladas son de tipo de conmutación suave totalmente de semiconductores que comprende un transformador de HF enmarcado por dos convertidores continua/continua de tipo semi-puente o puente completo (full bridge).

Se detallan en las figuras 5 y 6 varios modos de realización simples del segundo convertidor 30.

25 La figura 5 muestra un modo de realización muy simple de un segundo convertidor 30 en topología no aislada. Comprende un primer interruptor 31 activo en serie con un segundo interruptor 32 activo. De manera preferida, estos interruptores activos son unos interruptores de corriente bidireccionales tales como unos transistores de potencia de tipo IGBT, MOSFET o JFET, dotados cada uno de un diodo de rueda libre en paralelo. Los transistores 31 de potencia, respectivamente 32, están controlados por unas señales S_{31} de control, respectivamente S_{32} , procedentes de la unidad de control del variador de velocidad. Las señales S_{31} , S_{32} de control son unas señales de modulación de ancho de impulso (PWM).

30 La etapa 30a de salida del segundo convertidor 30 se conecta a los bornes del segundo transistor 32 de potencia, y la etapa 30b de entrada se conecta a los bornes del conjunto formado por el primer transistor 31 de potencia y el segundo transistor 32 de potencia conectados en serie. El segundo convertidor 30 incluye igualmente una inductancia 33 de línea conectada entre el punto medio de los dos transistores 31, 32 de potencia y el borne negativo del módulo C_S de almacenamiento. La inductancia 33 permite limitar la variación de la corriente del módulo C_S de almacenamiento durante la carga o la descarga del módulo C_S de almacenamiento.

35 Este modo de realización simplificado del segundo convertidor 30 presenta la ventaja de ser muy económico y de utilizar muy pocos componentes, pero presenta el inconveniente de una conexión directa entre el módulo C_S de almacenamiento y el bus de continua, lo que puede implicar unas grandes sollicitaciones sobre los transistores 31, 32 de potencia: tensión elevada determinada por la tensión V_B del bus y corriente elevada determinada por la corriente del módulo C_S de almacenamiento.

40 La figura 6 muestra un ejemplo de realización de un segundo convertidor 30 en topología aislada que incluye un transformador 35 de alta frecuencia de dos arrollamientos que permite un aislamiento galvánico mientras permite la transferencia de energía. En cada lado del transformador 35, el segundo convertidor 30 comprende cuatro interruptores activos montados en serie de dos en dos, indicados por 31a, 31b, 32a, 32b del lado del condensador C_B del bus y 33a, 33b, 34a, 34b del lado del módulo C_S de almacenamiento. Todos estos interruptores activos son unos interruptores de corriente bidireccionales, tales como unos transistores de potencia de tipo IGBT, MOSFET, dotados cada uno de un diodo de rueda libre y de una capacidad de amortiguamiento (snubber capacitor) en paralelo (no representados). Las señales de control de estos ocho interruptores son unas señales de modulación de cambio de fase (Phase Shift Modulation) procedentes de la unidad de control del variador de velocidad. Los arrollamientos del transformador 35 se conectan entre los puntos medios de los interruptores activos, tal como se ha representado en la figura 6. Además, se conecta una inductancia 36 de fugas del lado del condensador C_B del bus entre un arrollamiento del transformador 35 y un punto medio de los dos interruptores 31b, 32b. Esta inductancia 36 permite particularmente una conmutación de los interruptores con una tensión nula (conmutación suave o soft switching).

55 En una variante del modo de realización de la figura 6, es posible sustituir los interruptores 31b, 32b, 33b, 34b por unos condensadores. El segundo convertidor 30 incluye entonces cuatro condensadores y solamente cuatro interruptores activos. En este caso, los cuatro interruptores activos no necesitan más capacidad de amortiguación y

su señal de control es una señal de modulación de frecuencia (Frequency modulation). Esta variante presenta la ventaja de ser más económica.

Los diferentes casos de funcionamiento del dispositivo 10 de recuperación de energía se ilustran en las figuras 4a a 4d:

- 5 - El modo normal de funcionamiento (fig. 4a – modo motor) corresponde a un modo en el que el variador se alimenta por la red 5 exterior, a través del rectificador 12, y utiliza la energía proporcionada por la red 5 para alimentar y arrastrar la carga M. La tensión V_B del bus se mantiene constante y superior a la tensión V_{IN} rectificadora gracias al aporte de la tensión V_0 en la salida del primer convertidor 20. Como se indica en la figura 3, la tensión V_0 tiene como misión incrementar la tensión V_{IN} rectificadora del módulo 12 rectificador (función refuerzo) y anular las ondulaciones de la tensión V_{IN} rectificadora (función libre de rizado). Otra función importante del primer convertidor 20 es mantener prácticamente constante la corriente que circula en la inductancia 13, a pesar de eventuales variaciones de la tensión de alimentación de la red 5 exterior. Durante este modo, la energía proporcionada por la red 5 permite igualmente al segundo convertidor 30 cargar el súper-condensador C_S y/o mantener la tensión V_S en los bornes del súper-condensador C_S en un valor mínimo V_{Smin} .
- 10
- 15 - La figura 4b corresponde al modo de frenado, en el que el variador recupera y almacena la energía eléctrica proporcionada por la carga M cuando esta es de arrastre (como un motor de ascensor en fase de descenso). Esta energía de frenado recuperada permite cargar el súper-condensador C_S . El segundo convertidor 30 tiene como misión regular la tensión V_B del bus y aumentar la tensión V_S en los bornes del súper-condensador C_S . En este modo, la señal S_{21} de control mantiene el interruptor 21 activo en el estado abierto.
- 20 - La figura 4c corresponde a un modo en el que no se consume o recupera ninguna energía por la carga M (modo de espera).
- La figura 4d corresponde al modo de restitución, en el que la energía acumulada en el súper-condensador C_S durante el modo de frenado es restituida al variador gracias al segundo convertidor 30. En este modo, la energía almacenada en el súper-condensador C_S se reenvía hacia la carga M y la tensión V_S disminuye por tanto hasta alcanzar el valor mínimo V_{Smin} . En este modo, la señal S_{21} de control mantiene al interruptor 21 activo en el estado abierto. Cuando la tensión V_S alcanza valor mínimo V_{Smin} , la carga M debe alimentarse de nuevo a partir de la red 5 exterior y el variador puede pasar por tanto al modo 4a de funcionamiento normal.
- 25

Por otro lado, la arquitectura propuesta por la invención permite igualmente protegerse contra cortas interrupciones de la red 5 exterior, permitiendo en este caso una descarga mayor del súper-condensador C_S de modo que pueda mantener la alimentación de la carga M.

Por supuesto que se pueden imaginar, sin salirse del marco de la invención, otras variantes y perfeccionamientos de detalle e incluso concebir el empleo de medios equivalentes.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Variador de velocidad que comprende un bus de continua de alimentación de potencia dotado de una línea (16) positiva y de una línea (17) negativa, un módulo (14) ondulator alimentado por el bus de continua para proporcionar una tensión variable a una carga eléctrica (M), y un dispositivo (10) de recuperación de energía, **caracterizado porque** el dispositivo (10) de recuperación de energía incluye:
- un primer convertidor (20) continua/continua que comprende una etapa de entrada y una etapa de salida, estando conectada en serie la etapa de salida del primer convertidor (20) sobre la línea positiva del bus de continua,
 - 10 - un segundo convertidor (30) continua/continua que comprende una etapa de entrada y una etapa de salida, estando conectada la etapa de entrada del segundo convertidor (30) entre la línea positiva y la línea negativa del bus de continua,
 - un módulo (C_s) de almacenamiento de la energía eléctrica que se conecta en paralelo con la etapa de entrada del primer convertidor (20) y en paralelo con la etapa de salida del segundo convertidor (30).
- 15 2. Variador de velocidad según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el módulo de almacenamiento de la energía eléctrica incluye uno o varios súper-condensadores (C_s).
3. Variador de velocidad según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el primer convertidor (20) continua/continua es un convertidor monodireccional no aislado que incluye un interruptor (21) activo y un interruptor (22) pasivo.
- 20 4. Variador de velocidad según la reivindicación 3, **caracterizado porque** el interruptor pasivo del primer convertidor (20) es un diodo (22) que se conecta en serie sobre la línea positiva del bus de continua, estando conectada la etapa de salida del primer convertidor (20) a los bornes del diodo (22), y estando conectada la etapa de entrada del primer convertidor (20) a los bornes del conjunto formado por el interruptor (21) activo y el interruptor (22) pasivo conectados en serie.
- 25 5. Variador de velocidad según la reivindicación 4, **caracterizado porque** el interruptor activo del primer convertidor (20) es un transistor (21) de potencia de tipo MOSFET o IGBT, que se controla mediante una primera señal (S₂₁) de control generada por el variador de velocidad.
6. Variador de velocidad según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el segundo convertidor (30) continua/continua es un convertidor bidireccional no aislado que incluye un primer interruptor (31) activo conectado en serie con un segundo interruptor (32) activo.
- 30 7. Variador de velocidad según la reivindicación 6, **caracterizado porque** la etapa de salida del segundo convertidor (30) se conecta a los bornes del segundo interruptor (32) activo, y la etapa de entrada del segundo convertidor (30) se conecta a los bornes del conjunto formado por el primer interruptor (31) activo y el segundo interruptor (32) activo.
8. Variador de velocidad según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el segundo convertidor (30) continua/continua es un convertidor bidireccional aislado que comprende un transformador (35) de alta frecuencia.

35

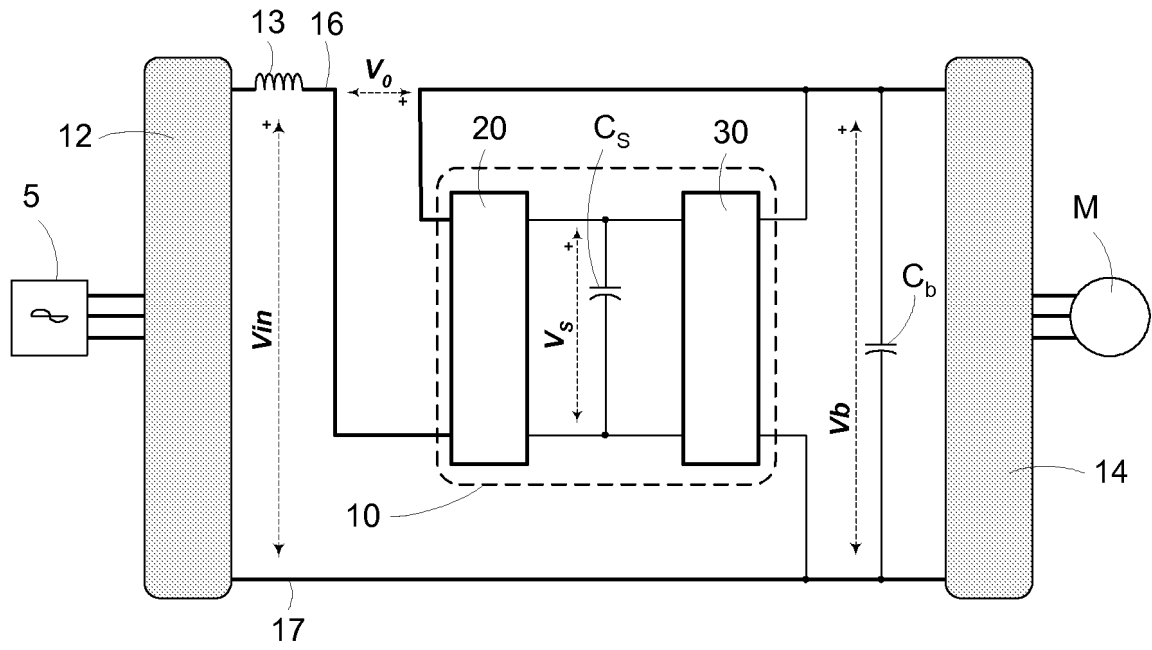


FIG. 1

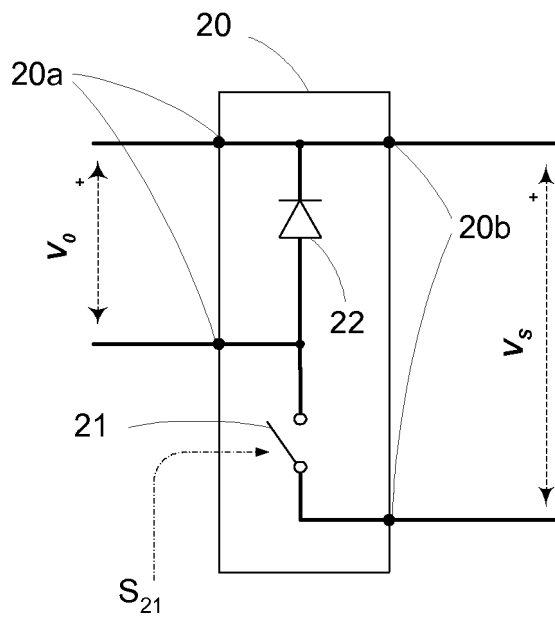


FIG. 2

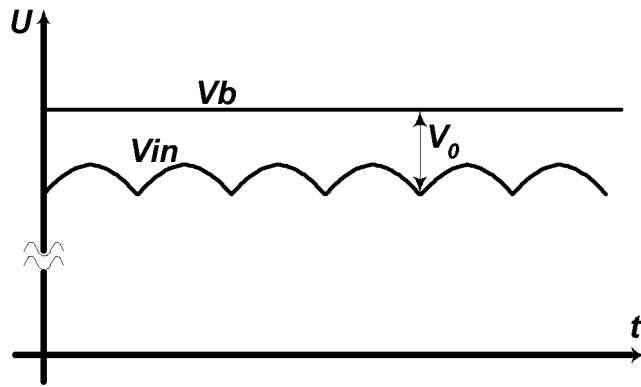


FIG. 3

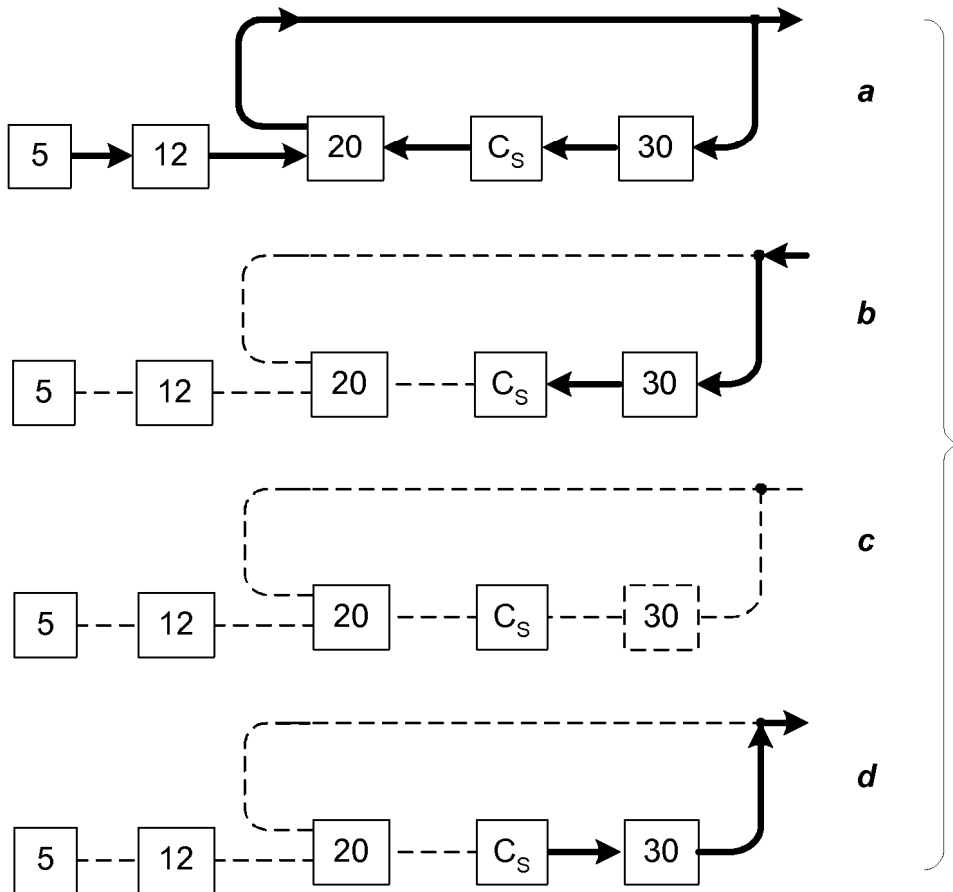


FIG. 4

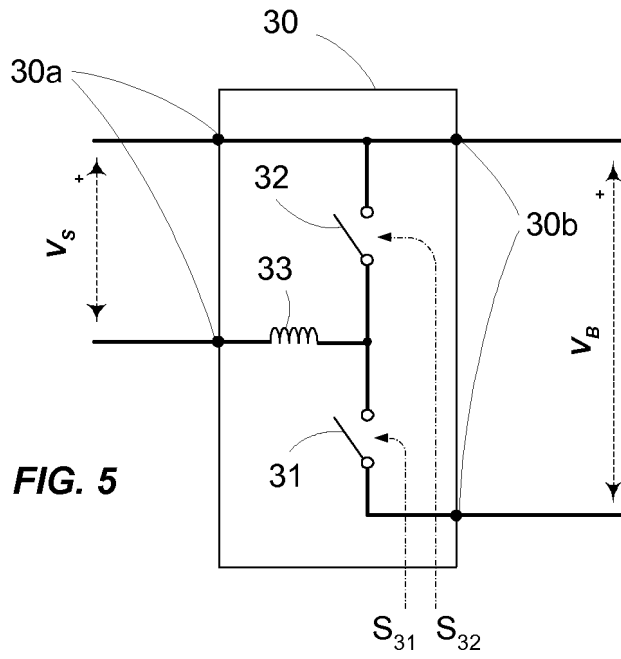


FIG. 5

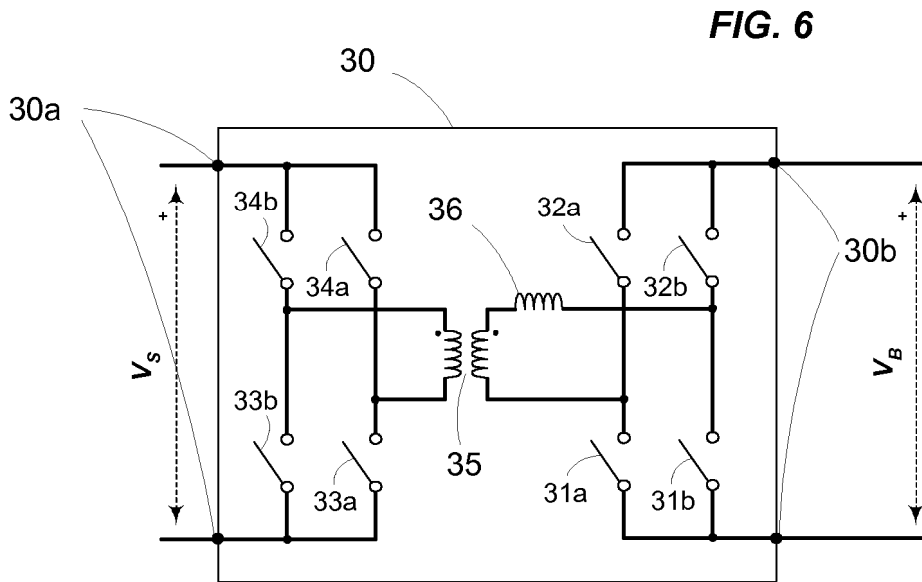


FIG. 6